

о водосливную поверхность плотины и поверхность водобойной плиты. Следовательно, такой режим пропуска льда не может быть рекомендован, так как возможно разрушение водосливной поверхности и поверхности водобоя.

Для предотвращения ударов льдин о водосливную поверхность плотины рекомендуется устраивать на шандорном заграждении козырек длиной 1,0...1,5 м с плавным криволинейным очертанием водосливной поверхности. Устройство такого козырька увеличит дальность отлета струи, переливающейся через шандоры, в результате льдины будут падать на поверхность воды в нижнем бьефе, а не на поток на водосливной поверхности плотины.

Во избежание ударов льдин о водосливную поверхность и поверхность плотины водобоя, при их вращательном движении в зоне гидравлического прыжка пропуск льда необходимо начинать при глубине потока в НБ не менее 5,0 м, т. е. при отметке уровня нижнего бьефа 111,0 м и выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
2. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений. – Л.: Энергия, 1967. – 210 с.
3. Ляхтер В. М., Прудовский А. М. Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Шарп Д. Ж. Гидравлическое моделирование. – М.: Мир, 1984.
5. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика. – М.; Л.: Энергия, 1964. – 352 с.
6. Зегжда А. П. Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей. – М.; Л.: Госстройиздат, 1938. – 164 с.
7. Веников В. А. Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики. – М.: Высш. шк., 1966.
8. Панфилов Д. Ф. Моделирование давления и пропуска льда / Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1964. – № 7. – С. 115–122.
9. Петруничев Н. Н. О динамическом давлении льда на гидротехническое сооружение: Лёдотермические вопросы в гидроэнергетике. – М.; Л.: Гидрометеоздат, 1954. – С. 17–64.
10. Пропуск льда через гидротехнические сооружения / Под ред. К. Н. Коржавина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 182 с.

УДК 666.97.033.17

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ–ОТТАИВАНИЯ

Докт. техн. наук ЛЕОНИЧ С. Н.

Белорусский национальный технический университет

Для центрифугированных железобетонных конструкций кольцевого сечения, подвергаемых знакопеременным температурным воздействиям в условиях водонасыщения, характерны существенная неоднородность прочностных, деформативных и теплофизических свойств бетона в радиальном направлении и анизотропия, обусловленные спецификой формования, градиентами температуры и влажности, характером армирования и трещинообразованием. Остаточные деформации, возникающие в результате деструктивного расширения бетона при циклическом замораживании–оттаивании (ЦЗО), вызывают перераспределение напряжений между бетоном и арматурой.

Для анализа напряженно-деформированного состояния инженерных сооружений цилиндрической формы разработаны физические соотношения, учитывающие работу бетона в плоском напряженном состоянии, неоднородность по толщине прочностных, деформативных и теплофизических свойств, анизотропию, усадку и ползучесть бетона. Физические соотношения получены на основании данных для неоднородных анизотропных оболочек и пластин.

Рассмотрен случай ортогонального армирования с трещинами, проходящими нормально к арматурным стержням (рис. 1). Уравнения механического состояния бетона записаны в форме модифицированной теории его пластичности.

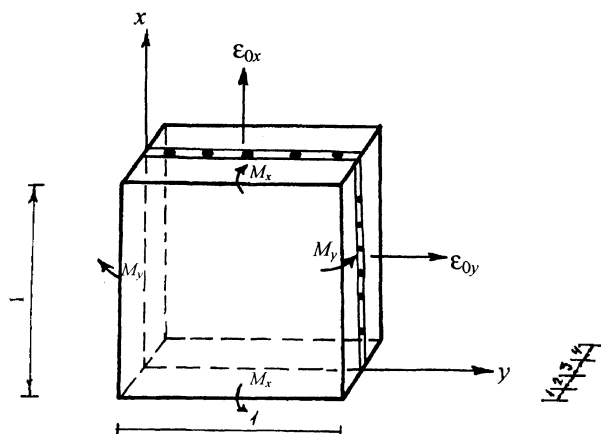


Рис. 1. Схема разделения железобетонной пластины на слои

Анизотропия, обусловленная армированием и трещинообразованием, учитывается для каждого элементарного слоя согласно теории деформирования железобетона с трещинами, разработанной Н. И. Карпенко. Модель бетона принималась, в общем случае, в виде модели нелинейного ортотропного материала, ортотропные свойства которого обусловлены ортогональной схемой образования трещин и направленным развитием эффекта дилатации. Использована следующая форма связи между полными деформациями и напряжениями в элементарном слое бетона, работающем в плоском напряженном состоянии:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_y^*} - \nu_y \frac{\sigma_y}{E_x^*} + a_x \theta_\alpha + \alpha_{bt} \Delta t + \varepsilon_{cs} + \varepsilon_{c,x}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_x^*} - \nu_x \frac{\sigma_x}{E_y^*} + a_y \theta_\alpha + \alpha_{bt} \Delta t + \varepsilon_{cs} + \varepsilon_{c,y}. \quad (2)$$

При этом считалось справедливым соотношение

$$E_x^* \nu_y = E_y^* \nu_x. \quad (3)$$

В выражениях (1)...(3): E_x^* , E_y^* и ν_x , ν_y – соответственно модули и коэффициенты поперечной деформации бетона в направлениях осей X и Y ; a_x , a_y , a_z – коэффициенты распределения деформации дилатации θ_α по направлениям главных осей; α_{bt} – то же температурного расширения бетона; $\varepsilon_{c,x}$ и $\varepsilon_{c,y}$ – деформации ползучести бетона вдоль осей X и Y .

Для i -го слоя арматуры связь между напряжениями и деформациями принималась в следующем виде:

$$\sigma_{si,n} = E_{si,n}^* (\varepsilon_n - \alpha_{si} \Delta \varepsilon_{sti,n}), \quad n = x, y. \quad (4)$$

Модули деформаций арматуры при ее работе в упругой стадии определялись по формулам:

$$E_{si,x}^* = \frac{E_{si} \beta_{si}}{K_{si,x}}; \quad E_{si,y}^* = \frac{E_{si} \beta_{si}}{K_{si,y}}. \quad (5)$$

Здесь ε_n – полная линейная деформация железобетонного элемента; α_{si} – коэффициент температурного расширения арматуры; β_{si} – то же, учитывающий изменение модуля упругости арматуры при воздействии температуры; $\Delta \varepsilon_{sti,n}$ – составляющая деформаций арматуры, обусловленная деформациями бетона в полосе между трещинами;

$$\Delta \varepsilon_{sti,n} = (\alpha_{du,i} \Delta t_i + \varepsilon_{cs} + \varepsilon_{ci,n} + \alpha_{sti} \Delta t_{si}) (1 - k_{si,n}), \quad (6)$$

$\varepsilon_{i,n}$ – деформации полосы бетона в направлении рассматриваемого слоя арматуры от кратковременного действия напряжений в бетоне на площадках, нормальных к трещине.

Значения всех величин, входящих в формулы (4)...(6), принимались на уровне центра тяжести i -го слоя арматуры.

Коэффициенты k_{si} учитывали влияние полос бетона между трещинами на деформации арматуры. Для арматурных стержней, нормально которым образуются трещины, коэффициенты k_{si} принимали равными ψ_s , при отсутствии трещин – $k_{si} = 1$.

Из условий статической эквивалентности напряжений и погонных внутренних сил и моментов получили:

$$N_n = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_n d\zeta + \sum_{i=1}^2 f_{si,n} \sigma_{si,n}; \quad (7)$$

$$M_n = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_n \zeta d\zeta + \sum_{i=1}^2 f_{si,n} \zeta_i \sigma_{si,n}, \quad n = x, y, \quad (8)$$

где ζ , ζ_i – расстояние от центра тяжести соответственно элементарного слоя бетона и i -го

слоя арматуры до срединной поверхности пластины; $f_{si,n}$ – параметр армирования i -го слоя арматуры, ориентированного вдоль осей X и Y , получаемый делением площади отдельных стержней в слое на расстояние между ними.

После подстановки в формулы (7), (8) значений напряжений σ_x и σ_y , полученных из (1) и (2), при использовании гипотезы о недеформируемости нормалей

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{o,n} + H_n \zeta, \quad n = x, y \quad (9)$$

получены искомые физические соотношения, которые могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} N_s \\ M_s \\ N_\theta \\ M_\theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & B_1 & B_2 \\ A_2 & A_3 & B_2 & B_3 \\ B_1 & B_2 & C_1 & C_2 \\ B_2 & B_3 & C_2 & C_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{os} \\ H_s \\ \varepsilon_{o\theta} \\ H_\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_{os} \\ M_{os} \\ N_{o\theta} \\ M_{o\theta} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где N_s , M_s , ε_{os} , H_s – соответственно погонные продольная сила и изгибающий момент, линейная деформация и изменение кривизны срединной поверхности в меридианальном направлении; N_θ , M_θ , $\varepsilon_{o\theta}$, H_θ – аналогичные величины в кольцевом направлении.

Коэффициенты матрицы и свободного вектора представляют собой интегральные характеристики по толщине оболочки, например:

$$A_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{E_{b,x}^*}{1 - \nu_x \nu_y} d\zeta + \sum_{i=1}^2 f_{si,x} E_{si,x}^*; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} N_{o,x} = & \int_{-h/2}^{h/2} \left[\frac{E_{b,x}^*}{1 - \nu_x \nu_y} (\alpha_x \theta_\alpha + \alpha_{bu} \Delta t + \varepsilon_{cs} + \varepsilon_{c,x}) + \right. \\ & \left. + \frac{\nu_x E_{b,y}^*}{1 - \nu_x \nu_y} (\alpha_y \theta_\alpha + \alpha_{bu} \Delta t + \varepsilon_{cs} + \varepsilon_{c,y}) \right] d\zeta - \\ & - \sum f_{si,x} E_{si,x}^* (\alpha_{si} \Delta t_s + \varepsilon_{si,x}). \end{aligned} \quad (12)$$

Физические соотношения (1)...(10) реализованы в программе расчета для ЭВМ, предназначенной для анализа напряженно-деформированного состояния элементов цилиндрических оболочек в виде железобетонных пластин, лишен-

ных возможности изгиба из плоскости. Эта программа была использована для оценки напряженно-деформированного состояния элементов центрифугированных железобетонных конструкций кольцевого сечения.

Соответствие решения для пластин решениям для цилиндрических оболочек достигалось реализацией в пластине соответствующих граничных условий, которые могут быть записаны следующим образом:

для краев $y = \text{const}$

$$N_x = N_1^*; \quad \omega = 0; \quad \frac{d\omega}{dx} = 0; \quad N_{xy} = 0, \quad (13)$$

для краев $x = \text{const}$

$$N_y = N_2^*; \quad \omega = 0; \quad \frac{d\omega}{dy} = 0; \quad N_{yx} = 0, \quad (14)$$

где силы N_1^* и N_2^* считаются известными.

При заданных граничных условиях (13) и (14) приращения кривизны элемента $H_x = H_y = 0$, а уравнения равновесия тождественно удовлетворяются.

После подстановки в соотношения (10) значений $N_x = N_1^*$; $N_y = N_2^*$ полученная система уравнений разделилась на два самостоятельных решения. Из совместного решения первого и третьего уравнений (10) определялись значения деформаций срединной поверхности элемента ε_{ox} , ε_{oy} , из совместного решения второго и четвертого уравнений – значения моментов M_x и M_y . Решение физически нелинейной задачи осуществлялось методом упругих решений в сочетании с шаговым методом приращения нагрузки.

При решении задачи об определении напряженно-деформированного состояния элементов центрифугированных железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию знакопеременных температур, учет неоднородности бетона по сечению элемента осуществлялся путем замены его системой однородных слоев конечной толщины. Слои рассматривались как плосконапряженные диски. В пределах каждого слоя на каждом этапе нагружения температура, напряжения, характеристики физико-механических и теплофизических свойств материала принимались постоянными и равными их значениям в центре тяжести слоя.

В рассматриваемой задаче ползучесть бетона не учитывалась ($\varepsilon_{c,x} = \varepsilon_{c,y} = 0$), объемные дефор-

мации усадки, деструктивного расширения и набухания бетона задавались на каждом этапе для каждого слоя как вынужденные деформации величиной ϵ_{cs} . В процессе расчета наличие или отсутствие трещин определялось отдельно для каждого рассматриваемого слоя бетона. До образования трещин полагалось:

$$E_{b,x}^* = E_{b,y}^* = E; \quad v_x = v_y = v. \quad (15)$$

При образовании трещин, ориентированных вдоль оси X , принималось:

$$E_{b,x}^* = E; \quad E_{b,y}^* = 0; \quad v_x = v; \quad v_y = 0, \quad (16)$$

при образовании трещин, ориентированных вдоль оси Y :

$$E_{b,x}^* = 0; \quad E_{b,y}^* = E; \quad v_x = 0; \quad v_y = v, \quad (17)$$

где v и E – соответственно коэффициент поперечных деформаций и модуль упруго-пластичности бетона.

В общую операторную схему и отдельные процедуры были внесены изменения, учитывающие влияние циклического замораживания и оттаивания на свойства слоев бетона в центрифугированных элементах, а также введены отдельные подпрограммы, где определяли параметры, зависящие от водонасыщения и количества циклов замораживания и оттаивания.

При воздействии на элемент переменных температур время их действия разделялось на отдельные интервалы. При этом полагалось, что изменение температуры и напряжений в слоях бетона и арматуры происходит мгновенно в начале каждого этапа.

Процесс нагружения пластины разбивали на ряд этапов изменения температур, свойств бетона и приращения необратимых деформаций деструктивного расширения. Секущий модуль деформации бетона, объемную деформацию дилатации θ_α и коэффициенты ее распределения по направлениям главных осей принимали для каждого элементарного слоя в каждом приближении величинами постоянными по данным предыдущей итерации.

Для i -го шага нагружения расчет выполняется в следующей последовательности:

1. Вычисляются коэффициенты и свободные члены уравнений (10) по соответствующим формулам (11), (12).

2. Решается система уравнений (10) относительно значений $\epsilon_{ox,j}, \epsilon_{oy,j}, M_{x,j}, M_{y,j}$ при заданных значениях $N_{x,j}$ и $N_{y,j}$.

3. Определяются напряжения $\sigma_{i,x}$ и $\sigma_{i,y}$ в слоях бетона по выражениям (1), (2).

4. Определяются деформации слоев бетона от действия напряжений $\sigma_{i,x}$ и $\sigma_{i,y}$ при $\sigma_{i,z} = 0$ по следующим выражениям:

$$\epsilon_{i,x} = \epsilon_{i,x}^I + \epsilon_{i,x}^{II} = \frac{1}{E_{bi}^*} (\sigma_{i,x} - v_i \sigma_{i,y}) + \alpha_{i,x} \theta_{\alpha i};$$

$$\epsilon_{i,y} = \epsilon_{i,y}^I + \epsilon_{i,y}^{II} = \frac{1}{E_{bi}^*} (\sigma_{i,y} - v_i \sigma_{i,x}) + \alpha_{i,y} \theta_{\alpha i}; \quad (18)$$

$$\epsilon_{i,z} = \epsilon_{i,z}^I + \epsilon_{i,z}^{II} = -\frac{v_i}{E_{bi}^*} (\sigma_{i,x} + \sigma_{i,y}) + \alpha_{i,z} \theta_{\alpha i}.$$

Интенсивность деформаций сдвига γ_i^I при $\gamma_{xy}^I = \gamma_{yx}^I = 0$ вычисляется по формуле

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}} \quad (19)$$

в зависимости от компонент деформации $\epsilon_x^I, \epsilon_y^I$ и ϵ_z^I .

5. Проверяется выполнение условия прочности по бетону для каждого слоя

$$\gamma_i^I \leq \frac{4}{3} \overline{\gamma_i^I}, \quad (20)$$

где $\overline{\gamma_i^I}$ – предельное значение деформаций сдвига.

Для слоев бетона, работающих в напряженных состояниях «растяжение–сжатие» и «растяжение–растяжение», условие (20) является условием образования трещин. Направление трещины назначается перпендикулярным направлению максимального из главных растягивающих напряжений.

6. Определяются новые значения модуля деформации в слоях бетона по выражению

$$E(\gamma_i^I) = E_b f(\gamma_i^I, \overline{\gamma_i^I}, \sigma, \tau_i). \quad (21)$$

В случае образования новых трещин в слоях бетона выполняется корректировка значений $E_{b,x}^*$, $E_{b,y}^*$, v_x^* , v_y^* по условиям (15)...(17).

7. Вычисляются напряжения в арматуре по формуле (4) и проверяется соблюдение условия

$$\sigma_{si} \leq R_s \gamma_{st}. \quad (22)$$

8. Определяются модули деформаций арматуры

$$E_{s,i,n,j}^* = \sigma_{s,i,n,j} / (\epsilon_{o,n} - \alpha_{sti} \Delta t_i + \Delta \epsilon_{st,i,n}). \quad (23)$$

Выполняется проверка сходимости решений по бетону и арматуре из условий:

$$\begin{aligned} \frac{|E_{b,n,j}^* - E_{b,n,(j-1)}^*|}{E_{b,n,j}^*} &\leq 0,03; \\ \frac{|E_{s,n,j}^* - E_{s,n,(j-1)}^*|}{E_{s,n,j}^*} &\leq 0,03. \end{aligned} \quad (24)$$

В результате решения задачи определяются изгибающие моменты и деформации срединной поверхности в направлениях X и Y , напряжения в арматуре и бетоне, направление и границы зон развития трещин, усилия трещинообразования.

Для расчета на ЭВМ на каждом температурном этапе вводились следующие послойные характеристики центрифугированного бетона и арматуры: R_b – призменная прочность бетона i -го слоя; R_{bt} – прочность на растяжение бетона i -го слоя; E_b – модуль упругости бетона i -го слоя; R_s – временное сопротивление арматуры i -го слоя; σ_y – физический предел текучести арматуры i -го слоя; E_s – модуль упругости арматуры i -го слоя; α_{bt} – коэффициент линейного температурного расширения бетона i -го слоя; α_{st} – то же арматуры i -го слоя; ϵ – остаточные (необратимые) деформации бетона i -го слоя, вызванные его деструктивным расширением при ЦЗО.

Ввиду изменчивости свойств центрифугированного бетона по толщине стенки и арматуры при циклическом замораживании и оттаивании в водонасыщенном состоянии для корректной подстановки представленных выше характеристик в расчет потребовался анализ результатов собственных экспериментов автора, а также дан-

ных и закономерностей многочисленных литературных источников.

Для удобства анализа данные были условно разделены на три основные группы:

I. Экспериментальные данные, полученные автором о свойствах центрифугированного бетона по слоям и влиянии на эти свойства циклического замораживания и оттаивания.

II. Изменение прочностных и деформативных характеристик бетона в зависимости от температуры и влажности.

III. Изменение теплофизических характеристик бетона в зависимости от температуры и влажности.

Характер изменения температуры по слоям центрифугированного элемента кольцевого сечения в течение цикла замораживания–оттаивания фиксировался хромель–копелевыми термодарами.

Исследования физико-механических свойств по толщине стенки центрифугированного бетона, характеризующегося анизотропией в радиальном направлении, проводились по полностью равновесным диаграммам деформирования.

Для расчета использовались данные об изменении при ЦЗО R_b и E_b центрифугированных бетонных элементов кольцевого сечения серий КЦ1 и КЦ3, которые были получены испытанием опытных образцов на осевое сжатие. Сложнее обстоит дело с корректной подстановкой в расчет данных по накоплению остаточных деформаций по слоям, вызванных деструктивным расширением бетона при ЦЗО, так как величина этих деформаций включает в себя и деформации от изменения кривизны выпиленного призматического образца секториального сечения при водонасыщении и циклическом замораживании–оттаивании. Значения деформаций пересчитывались за вычетом вносимой погрешности.

Влажность образцов по слоям определялась по соответствующему стандарту.

В итоге для численного эксперимента на ЭВМ были представлены следующие данные, полученные автором:

- температура по слоям в образце в течение всего цикла замораживания–оттаивания;
- влажность по слоям образца в радиальном направлении во время испытаний;
- физико-механические характеристики по слоям центрифугированного бетона на начало и конец каждого рассматриваемого цикла;
- величина накопленных остаточных деформаций в каждом слое на начало и конец рассматриваемого цикла.

Использована формула Р. Д. Брауна и П. Б. Бамфорса для определения прироста прочности от температуры в диапазоне от 0 до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности

$$\sigma_{\alpha} = \frac{tm}{12}, \quad (25)$$

где σ_{α} – прирост прочности, Н/мм^2 ; t – температура, $^{\circ}\text{C}$; m – масса влаги.

Как следует из формулы (25), прирост прочности не зависит от исходной прочности бетона, а определяется температурой его замораживания и влажностью.

Были определены переходные коэффициенты, умножением на которые начальных значений R_b , R_{bt} , E_b слоя устанавливали физико-механические характеристики данного слоя, имеющего определенную влажность, при конкретном значении температуры.

Коэффициент линейной температурной деформации бетона нормальной влажности α_{bt} рекомендовано принимать равным $10 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ независимо от температуры охлаждения.

В том случае, когда бетон подвергается воздействию отрицательных температур в водонасыщенном состоянии, величина α_{bt} переменна.

Были определены осредненные значения α_{bt} в зависимости от температуры и влажности бетона и их величины по слоям центрифугированного бетона.

В численном эксперименте варьировались следующие параметры:

- состав бетона центробежного формования и зависящие от него послойные прочностные, деформативные, теплофизические свойства бетона, его влажность;

- варианты армирования.

Для анализа в пределах каждого цикла замораживания выбрано пять температурных этапов, соответствующих температурам: $+20$; -33 ; -50 ; -24 ; $+7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В зависимости от значений температуры и влажности определены на каждом температурном этапе призматическая прочность R_b , модуль упругости E_b , прочность на растяжение R_{bt} слоев бетона, значения необратимых деформаций слоев бетона при ЦЗО.

В результате численного эксперимента определялись: напряжения в слоях бетона $\delta_{x(y)}$, напряжения в арматуре $\delta_{s,x(y)}$, деформации срединной поверхности $\epsilon_{\alpha x(y)}$ элемента, значения моментов $M_{x(y)}$.

Сопоставление результатов расчета с данными экспериментальных исследований выполнялось по количеству циклов замораживания–оттаивания, соответствующему образованию и выходу на наружную грань трещин в бетонных и железобетонных элементах, по величинам деформаций их срединной поверхности. Полученные данные свидетельствуют, в целом, об удовлетворительной сходимости результатов расчетов и опыта.

Значения напряжений в арматуре оказались несколько завышенными. Объясняется это тем, что с увеличением количества циклов замораживания–оттаивания принятое в расчете условие совместности деформирования бетона и арматуры в реальном эксперименте нарушается.

В численном эксперименте на ЭВМ прослежено изменение знака и величины моментов $M_{x(y)}$ на различных этапах ЦЗО. Это связано с изменением напряженно-деформированного состояния элемента. Очевидно, что знак и величина напряжений в бетоне и моментов зависят от величины накопленных остаточных деформаций деструктивного расширения бетона и особенно от величины их градиента по толщине. С увеличением градиента деформаций значения $M_{x(y)}$ возрастают. Характер изменения величины $M_{x(y)}$ в процессе ЦЗО зависит от величины температурного перепада, режима температурных воздействий, неоднородных по толщине температурных и деструктивных деформаций бетона, а также наличия трещин.

Отмеченный в расчете и опыте рост деформаций срединной поверхности элемента за счет необратимых деструктивных деформаций расширения вызывает появление дополнительных напряжений в ненапрягаемой продольной и поперечной арматурах и, как следствие, некоторое обжатие бетона в двух направлениях.

На этапе замораживания элементов вследствие различия коэффициентов линейного температурного расширения бетона и арматуры наблюдался прирост растягивающих напряжений в арматуре, достигавший наибольшей величины при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. При оттаивании происходят уменьшение напряжений растяжения в арматуре и рост деформаций удлинения срединной поверхности элементов. Деформации в конце цикла несколько превышают свое значение на его начало в связи с накоплением остаточных деформаций расширения бетона.

ВЫВОДЫ

1. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния центрифугированных железобетонных элементов кольцевого сечения в условиях ЦЗО с учетом неоднородности прочностных, деформативных и теплофизических свойств бетона. Достоверность методики расчета подтверждена сопоставлением результатов расчета с данными экспериментальных исследований.

2. Циклическое замораживание и оттаивание приводит к существенному росту деформаций удлинения срединной поверхности, появлению дополнительных напряжений растяжения в ненапрягаемой продольной и поперечной арматурах.

3. Образование продольных и поперечных трещин на наружной поверхности элемента обусловлено появлением дополнительных напряжений вследствие перепада температурных, остаточных деструктивных деформаций бетона по толщине стенки и снижения его прочностных свойств при ЦЗО. Более раннее образование трещин характерно для элементов из бетона без добавок.

4. Процессы образования трещин в центрифугированных элементах с симметричной продольной и поперечной спиральной арматурами отодвигаются до более высоких значений числа циклов замораживания–оттаивания.

УДК 711(476)

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА В БЕЛАРУСИ В XXI ВЕКЕ

Докт. арх. ПОТАЕВ Г. А.

Белорусский национальный технический университет

В 2002 г. на кафедре «Градостроительство» БНТУ с участием специалистов из других организаций по заданию Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь разработан проект Национальной градостроительной доктрины Республики Беларусь (авторский коллектив: Г. А. Потаев – руководитель, И. А. Иодо, А. И. Ничкасов, А. В. Богданович, Н. А. Колонтай, И. Д. Семенкевич, Л. Н. Смирнова, Э. Н. Клевко, И. С. Борисик, А. В. Мазаник и др.). Концепция доктрины рассмотрена и одобрена архитектурно-градостроительным советом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь.

Национальная градостроительная доктрина – документ, в котором зафиксированы основные положения градостроительной политики общества и государства развития городских и сельских поселений, систем расселения. Проект документа включает шесть разделов: «Особенности современного периода развития градостроительства в Республике Беларусь» (достижения бело-

русского градостроительства, основные проблемы белорусского градостроительства, ожидаемые изменения в развитии градостроительства в XXI в.); «Стратегия развития градостроительства в Республике Беларусь» (взаимосвязанность стратегии развития градостроительства с социально-экономической политикой государства, принципы развития градостроительства, стратегические направления развития градостроительства); «Цели и средства развития градостроительства»; «Приоритеты развития различных регионов и поселений» (политика использования региональных преимуществ и различий, формирования безопасной и гуманной среды жизнедеятельности населения в городских и сельских поселениях); «Этапы и ожидаемые результаты реализации доктрины»; «Первоочередные мероприятия» (законодательные и нормативные документы, целевые программы, пилотные проекты).

Стратегическими направлениями развития градостроительства являются: